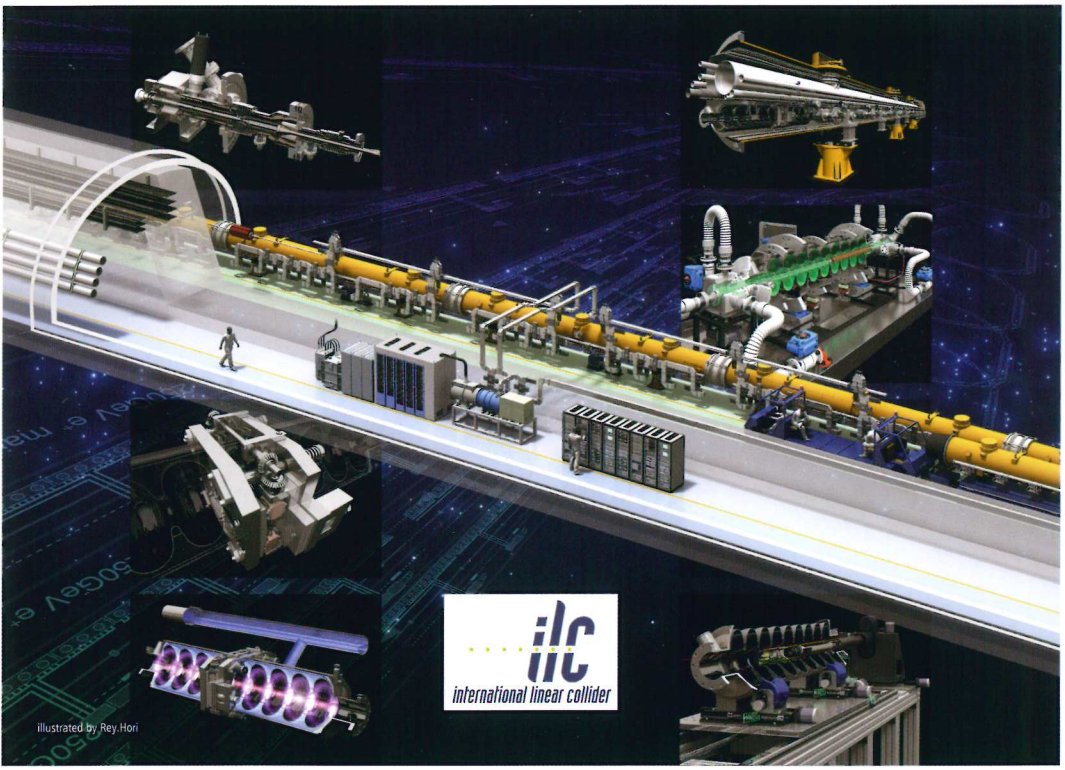


ILC加速器組立て・整備・保管の 地域拠点



1. 概要

ILCは国際協力による建設と運転を行う大規模な加速器施設である。主要な加速器機器は、その製作、試験、設置までのスケジュールが管理され、円滑にそれらの作業が進行するよう製作・整備・保管のために必要な地域拠点を考察する。

ILC建設に向けた準備期間では、トンネル掘削のための精密調査・設計が行われ、加速器については製造仕様の詳細作成、製造準備と試験設備の構築を行い、大量生産・大量試験に向けた準備を完了させる必要がある。

2. 国際協力による加速器機器の製造分担例

国際プロジェクトにおいて、誘致国が何を用意し、参加国が何を分担するかは、重要な決定事項である。以下でその考察の一例を示す。

なお文中の“in-kind”とは、参加国がILC仕様を厳密に守って担当機器を製造し、試験をし、日本に輸送し、担当研究者が日本に出向いて日本側担当者と協力して設置するものを意味する。なお、総合試験運転時にも参加国担当者は立ち会う。

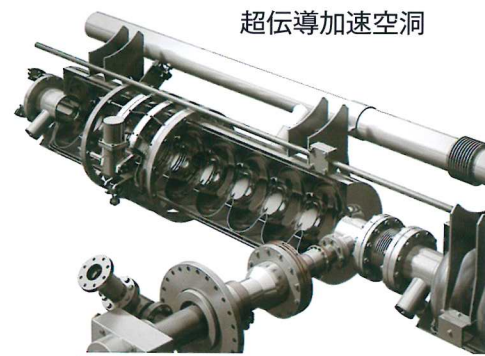
ILC 加速器機器の分担例

コンポーネント	担当	コメント
加速器トンネル建設	日本	ホスト国が担当するべき。ただし建機はin-kindの可能性あり。
インフラ設備（電気、水、空調、照明、通信、クレーン、運搬車両、警報機、その他）	日本	安全設備と深く関連している。ただし設備機器自身はin-kindの可能性あり。
ヘリウム冷凍機設備	日本	高圧ガス安全設備なので。ただし冷凍機自身はin-kindの可能性あり。
LINAC クライオモジュール	in-kind	US：EU：Asia=1：1：1の可能性大
LINAC 大電力RF	in-kind	
LINAC LLRF および制御	in-kind	
LINAC 常伝導ビームライン	in-kind	
ダンピングリング	in-kind	
ファイナルフォーカス（BDS,dumpline）	in-kind	
ビームダンプ、コリメータ、ミュオンシールドなど	日本	放射線安全設備なので
偏極電子源	in-kind	
陽電子源（undulator,target,capture）	in-kind	
放射線安全システム、入構管理システム	日本	放射線安全設備なので
加速器制御システム	日本	Software labor shareの可能性大
空洞・クライオモジュール試験設備・保管設備	日本	Labor shareの可能性大
常伝導コンポーネント試験設備・保管設備	日本	Labor shareの可能性大
加速器 インストレーション	日本	Labor shareの可能性大
加速器 配線・配管	日本	インフラ設備と密接に関連
加速器 アライメント	日本	Labor shareの可能性大
加速器 試験運転	日本	Labor shareの可能性大

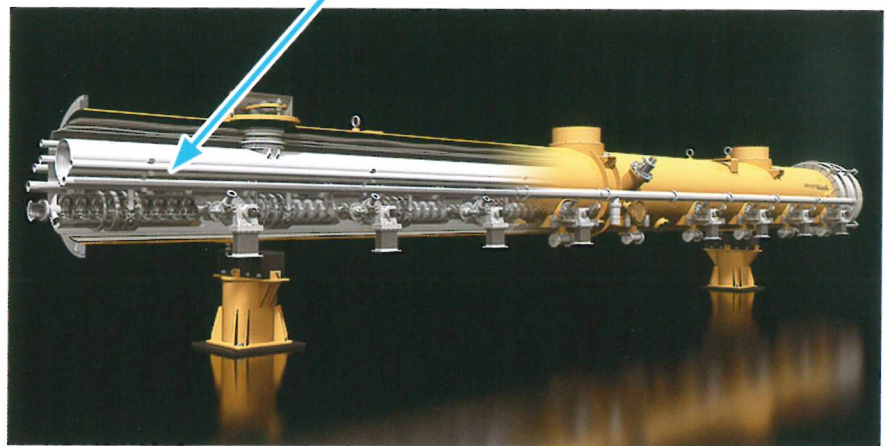
3. クライオモジュールの製造・保管・組み込みの概要

クライオモジュール必要数

加速器の心臓部の超伝導加速空洞を含む機器：
クライオモジュールは、全数で1849台の製造が必要である。これをUS,EU,Asiaの3極で分担すると、各極616台となり、建設期間を考慮すると1年間に69台の製造能力が要求される。



クライオモジュール



超伝導空洞試験・クライオモジュール試験を行う設備

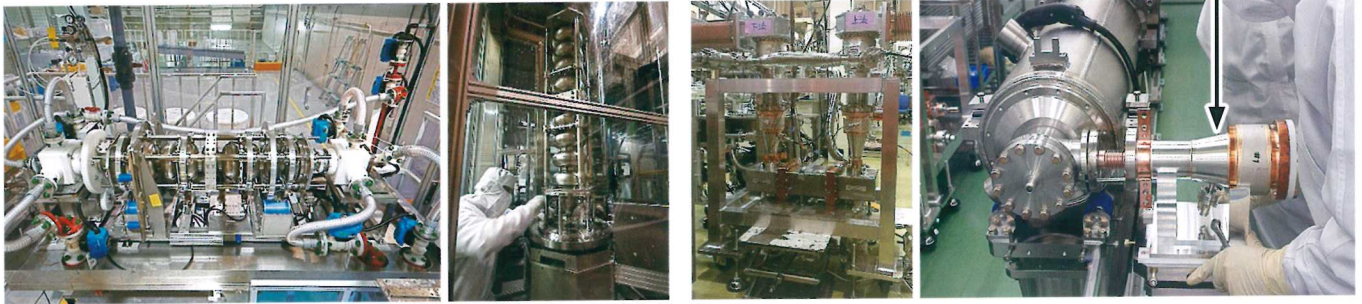
ヘリウム冷凍機、大電力高周波（RF）設備、小さなクリーンルームを備え、超伝導加速空洞の電界試験、入力カップラーのRF プロセス、クライオモジュールの電界試験を行う設備が必要である。不合格空洞を再度、表面処理をする電解研磨設備も必要となる。

KEKと分担して日本担当分の超伝導空洞・クライオモジュールを試験する。地域拠点にもこの設備が必要である。

KEK 施設



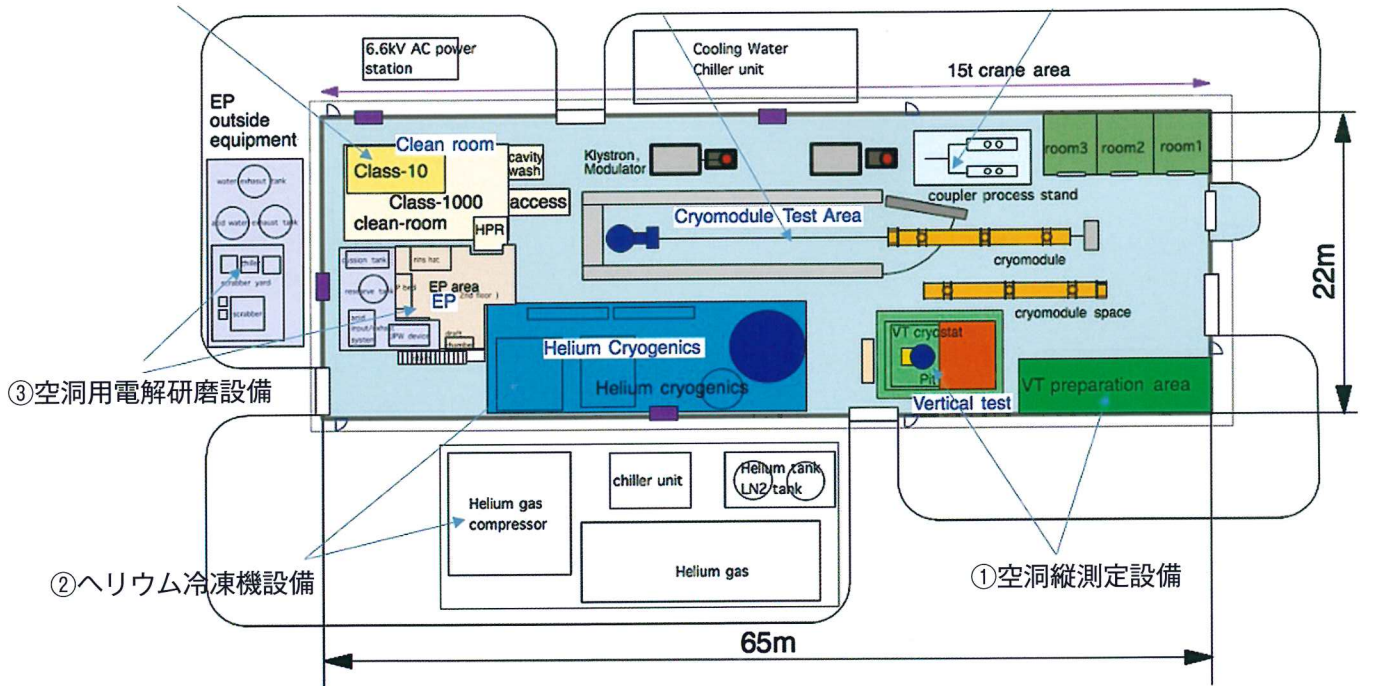
試験設備の例 (KEK)



超伝導加速空洞の電解研磨装置 ③ 超純水高圧洗浄装置 ⑥ 入力カップラー試験装置
入力カップラーを超伝導加速空洞に取り付けているところ

超伝導加速空洞／クライオモジュール試験施設

- ④ 空洞用クリーンルーム
- ⑤ クライオモジュール試験設備
- ⑥ 入力カップラープロセス設備



- ② ヘリウム冷凍機設備
- ① 超伝導加速空洞縦測定設備



④34m×11m ISO4/ISO6 クリーンルーム

超伝導加速空洞の内面にゴミ、チリなどが付着し、RFを印加したときその電気抵抗により発熱体となると、その発熱によりニオブ表面の温度が上がり超伝導状態が破れクエンチしてしまったり、多量の電界電子放出を起こしたりしてしまう。ILC加速空洞の加速電界の判定ライン35MV（メガボルト）/mを超えるためには数 μm ～10 μm 以上のゴミ・チリの混入は許されない。超伝導空洞の内面を清浄に保つためには高潔度のクリーンルーム環境が必要であり、空洞のなかにゴミ・チリを持ち込まない様にする技術が重要である。



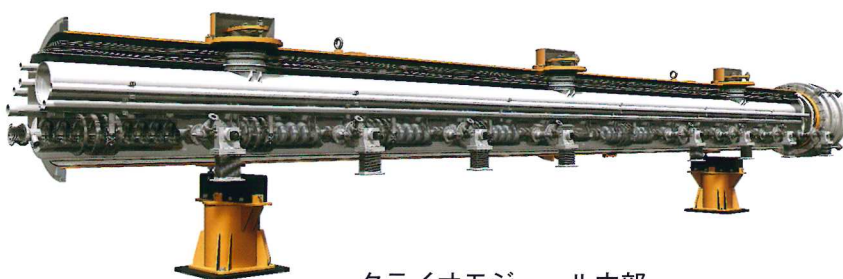
超伝導加速空洞へのアンテナポートなどの取付



超伝導加速空洞の連結接続作業

⑤クライオモジュール組立設備

クリーンルーム内で連結のされた超伝導加速空洞にチューナー機構を取付け、液体ヘリウム配管を取付け、断熱シールドを施して、クライオモジュールに挿入する工程の作業を行う設備である。



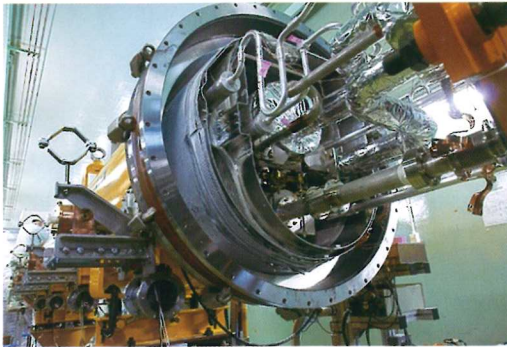
クライオモジュール内部



クライオモジュール試験・保管

クライオモジュールは、ニオブ製空洞を超伝導状態で運転するため、空洞の外側をジャケットで覆い絶対温度2度の液体ヘリウムを満たしたものを断熱保持する機能を持つ。クライオモジュール内において、超伝導加速空洞は絶対温度5度と80度に保たれる2重の断熱シールドでさらに囲まれ、それらは12mの長さ、直径1mの円筒状真空容器に納められる。それら一体となったものをクライオモジュールと呼ぶ。

KEKと分担して、日本担当分のクライオモジュールと海外からのクライオモジュールの試験と保管を行う。15tクレーン設備、防錆用空調設備が必要である。その他のクライオモジュール付属部品すべての保管も行う。また、トンネル内設置に向けての出荷時には導波管装着作業を行う。



クライオモジュール端部の配管組立中



クライオモジュールを冷却し、性能試験をしているところ

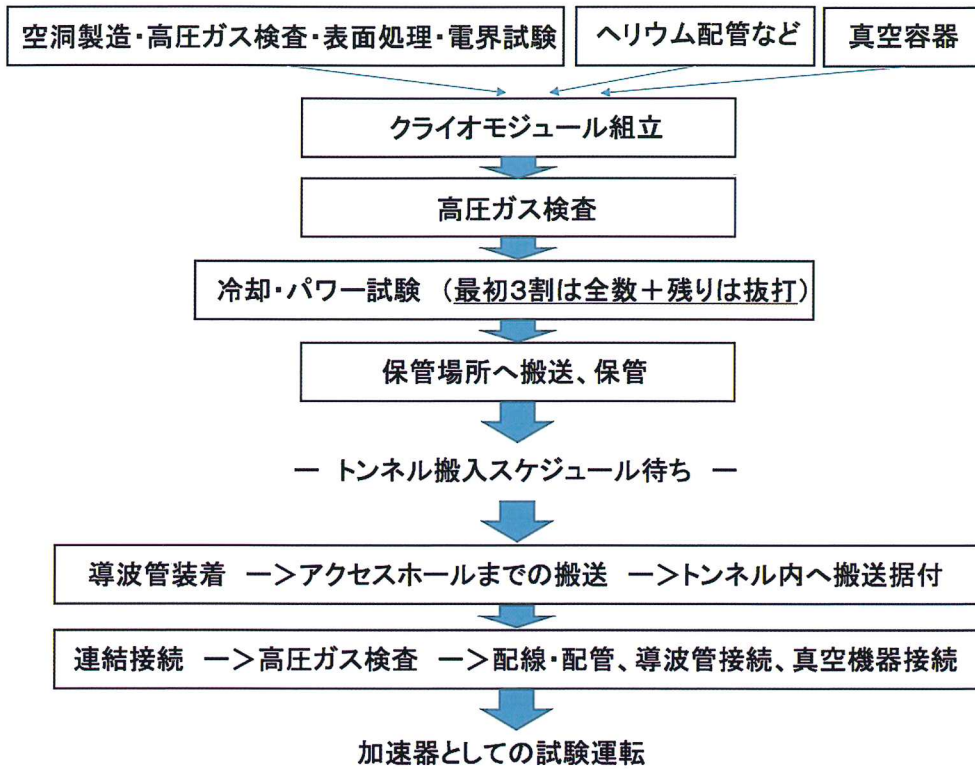
トンネルが完成するまでの間の約7年間は、完成したクライオモジュールから順に保管する必要がある。必要保管スペース（温度、湿度管理された屋内でクレーン付き）は、14m×3m=42㎡/本。7年間の合計で、海外用959モジュール=40,278㎡（200m×200m）、日本用483モジュール=20,286㎡（142m×142m）が必要となる。この保管スペースはトンネルアクセス口の近傍1-2時間以内の搬送時間の場所に確保する必要があるが、それらが分散していても構わない。



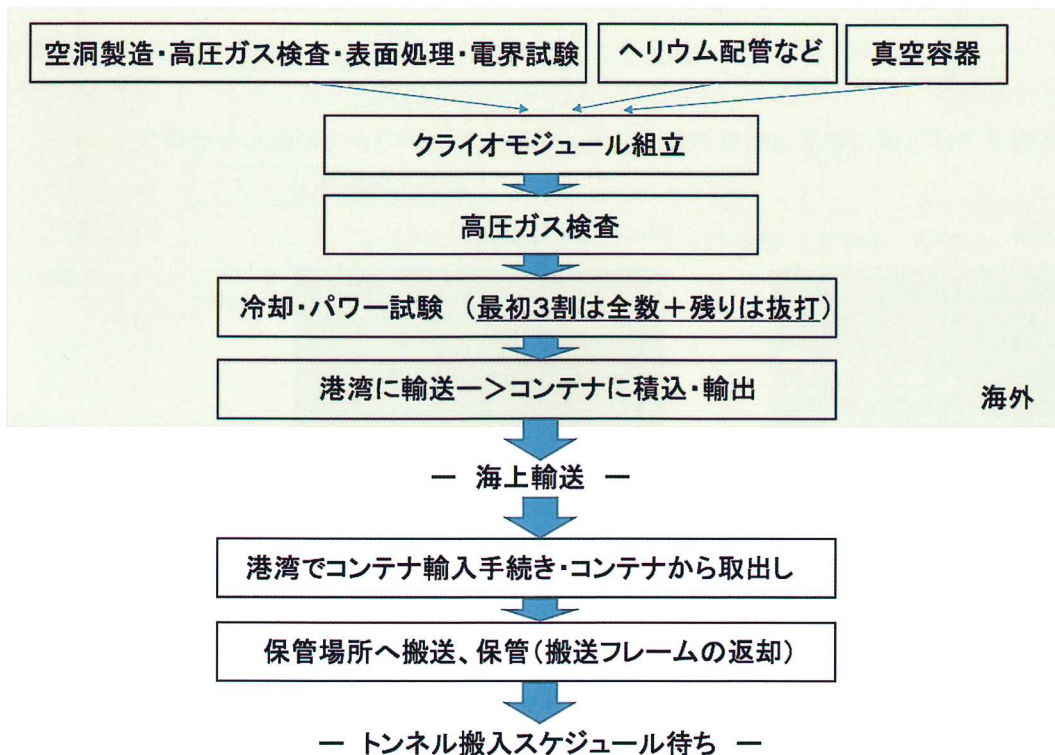
クライオモジュールの製造後、トンネル内据え付けまでの工程

日本において、クライオモジュールの組立、高圧ガス検査、性能試験の後、保管され、スケジュールに従ってトンネル内へ設置されるまでの工程は以下のとおりである。

日本の場合

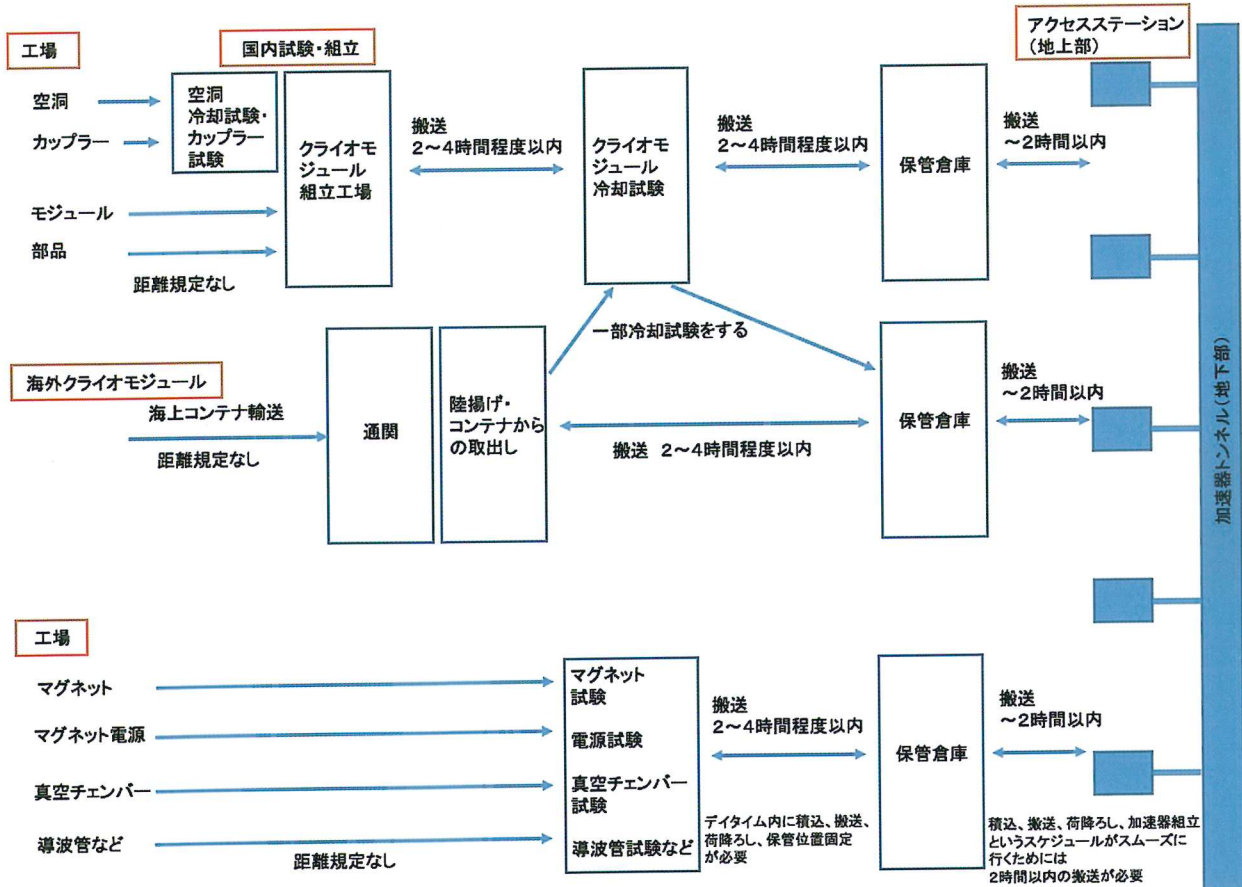


海外の場合



クライオモジュールの運搬・トンネル据付までの工程を考えた拠点設備の位置関係

機能分離方式の設備拠点



クライオモジュールの運搬・トンネル内取り付け

クライオモジュールの運搬時には、専用の搬送フレーム内に防振固定され、エアサス車で、加速度計が多数装着され、移送中の加速度 (G) がモニターされるようなトラックで移送される。また、トンネルアクセス口からトンネル内設置位置までは専用の電気自動車で搬送され、取り付け工事ができる機能も合せ持つ。

Euro-XFEL の例



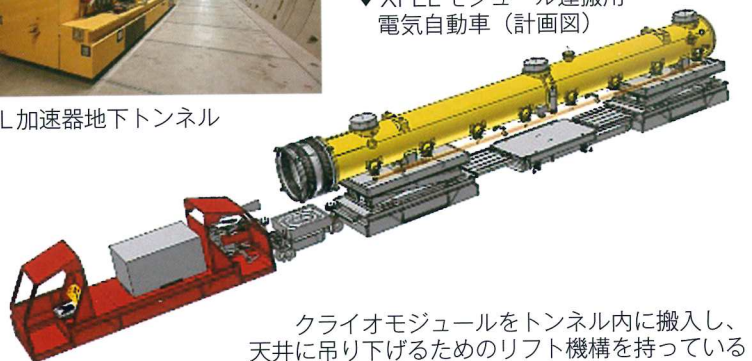
トンネル内搬送車



XFEL 加速器地下トンネル

◀ XFEL モジュール運搬用電気自動車 (実物)

▼ XFEL モジュール運搬用電気自動車 (計画図)



クライオモジュールをトンネル内に搬入し、天井に吊り下げるためのリフト機構を持っている

4. その他の加速器機器の製造・保管の概要

ダンピングリング機器 偏向電磁石、4極電磁石、6極電磁石など3818台

1000㎡のマグネット保管スペース
2500㎡の電源保管スペース
1000㎡の架台保管スペース
1000㎡の真空チェンバー保管スペース

ビーム輸送ラインの機器 偏向電磁石、4極電磁石、その他4753台

2500㎡のマグネット保管スペース
2500㎡の電源保管スペース
2500㎡の架台保管スペース
2500㎡の真空チェンバー保管スペース

最終収束系の機器 偏向電磁石、4極電磁石、6極電磁石など732台

1500㎡のマグネット保管スペース
500㎡の電源保管スペース
1500㎡の架台保管スペース
1200㎡の真空チェンバー保管スペース

導波管 サーキュレータ、RFロード、各種導波管など122100台

30000㎡の保管スペース

クライストロン 架台付きクライストロン370台

3700㎡の保管スペース

マルクス変調器 マルクス変調器370台

3000㎡の保管スペース

ヘリウム冷凍機の機器

17500㎡の屋内保管スペース（圧縮機、冷凍機、配管など）
9000㎡の屋外保管スペース（タンク、デュワー、CEなど）

